

Трубопровод и коллектор весьма отличаются друг от друга по площади поперечного сечения, так что по отношению к коротким волнам, поступающим из коллектора в трубопровод, отражающимся внутри трубопровода и поступающим в коллектор, система обладает пренебрежимо малой прозрачностью. В этом случае влияние расположения гидравлического сопротивления проявляется лишь при таких достаточно низких частотах колебаний, при которых площадь поперечного сечения приведенной магистрали, построенной вместо коллектора и близлежащего участка трубопровода, имеет порядок площади поперечного сечения трубопровода. В этом случае длина звуковой волны не менее чем на порядок превышает длину участка потока в коллекторе.

#### Список литературы

- 1 Еланчик Ф.И. Эвристические методы анализа одномерных нестационарных процессов в разветвленных системах магистралей / Сборник статей "Динамические процессы в силовых и энергетических установках". - Самара: СГАУ, 1994. - С. 80-87
- 2 Гликман Б.Ф. Автоматическое регулирование жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1989. - 296 с.
- 3 Самойлович Г.С. Гидрогазодинамика. М.: Машиностроение, 1990. - 384 с.
- 4 Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М.: Недра, 1975. - 296 с.
- 5 Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. М.: Машиностроение, 1980. - 150 с.

### ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГТД НА БАЗЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ ЭС РВ

Жернаков С.В.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Одним из перспективных способов повышения эффективности функционирования систем технического контроля и диагностики ГТД является применение комплексных интеллектуальных компьютерных технологий, а именно, систем, основанных на разнородных знаниях - гибридных экспертных системах реального времени (ЭС РВ) [6-9,12,13,15].



Рисунок 1- Концептуальная модель ГТД в среде ЭС РВ

Мобильность ЭС РВ обусловлена мобильностью баз знаний (БЗ) и возможностью ее пополнения из разных информационных составляющих (БД, баз экспертных знаний (БЭЗ), баз концептуальных знаний (БКЗ), динамических файлов и т.д.), а также различными процедурами вывода. Конкретизация знаний при решении задач диагностики декомпозирует их на точные и неточные, полные и неполные, статические и динамические, однозначные и многозначные и т.д. Кроме того, сами экспертные знания неточны в силу их субъективного характера. Приблизительность и многозначность знаний приводят к тому, что ЭС РВ имеет дело как бы не с одной, а с несколькими альтернативными областями. Поэтому неполнота знаний, позволяет использовать не один, а несколько источников знаний.

Концептуальная модель [5] диагностики и контроля параметров ГТД в среде ЭС РВ представлена на рис.1.

Применение нечеткой логики в гибридной ЭС РВ технического контроля и диагностики может иметь по крайней мере три реализации [3,4]: обработка нечеткостей; высказываний экспертов, т.е. когда предпосылка имеет нечеткие переменные, а машина вывода механизм извлечения данных из них; использование матрицы нечетких отношений, когда определяется множество факторов и множество предпосылок; матрица содержит нечеткие переменные отношения, мера которых представляется в виде вещественного числа в  $[0,1]$ , а чтобы определить причины состояния, производится преобразование матрицы и факторов к виду уравнений нечетких отношений, а затем полученную систему решают методом ком-

позиции минимума-максимума; использование нечетких выводов; данный подход наиболее часто используется при построении нечетких БЗ. Применение нечетких гибридных ЭС РВ для решения задач диагностики и контроля параметров ГТД расширяет возможности такого класса интеллектуальных систем, повышает их гибкость и мобильность, позволяет при равных вычислительных ресурсах ЭВМ проводить экспертную оценку большего количества вариантов, повышая достоверность и точность оценки полученных результатов.

Алгоритм параметрического диагностирования двигателя основан на сравнении математической модели конкретного двигателя с моделью эталонного бездефектного двигателя, т.е. в проверке принадлежности параметров состояний допустимым диапазонам их рассеивания. Выход параметра за пределы этих диапазонов должен свидетельствовать о наличии неисправности в соответствующем узле двигателя [1,2,10,11,14]. В гибридной нейро-нечеткой ЭС РВ эталонная модель (ЭМ) ГТД хранится в БЗ и уточняется в процессе приобретения новых знаний. Реальная модель формируется в среде БД, а связь с ЭМ осуществляется через запросы пользователя. Решение задачи по построению интеллектуальной системы технического контроля и диагностики состояния ГТД на базе гибридной ЭС РВ производилось с учетом особенностей среды ЭС и специфики адаптации модели в данной среде по разработанной автором методике.

Гибридная ЭС РВ состоит из следующих функциональных частей: базы данных, в которой хранятся эталонные и фактические данные о процессе; результаты их сравнения; концептуальная, инфологическая и физические модели ГТД; база знаний (БЗ): статическая (знания хранятся в виде экспертных знаний (продукции), а также формул, фактов, зависимостей, таблиц, понятий конкретной предметной области); динамическая (знания хранятся комбинированными моделями НС в виде эталонных динамических процессов, с учетом частичной или полной неопределенности параметров диагностирования); механизм логического вывода, основанный на алгоритме порождения причинно-следственной сети событий в функционально-структурной модели; механизм адаптации, координирующий работу баз данных (БД) и БЗ в процессе логического вывода в зависимости от сложившейся ситуации; механизм объяснения, который представляет собой интерпретацию процесса логического вывода; планировщик, координирующий процесс решения задачи; решатель.



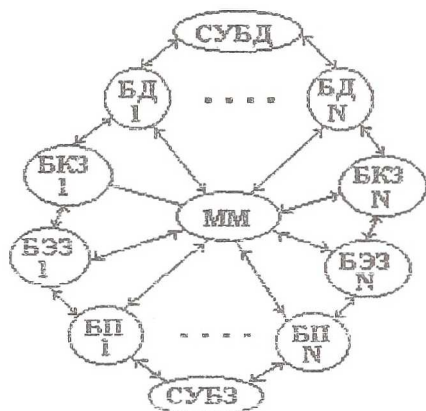


Рисунок 2- Структура гетерогенной БЗ в среде гибридной ЭС РВ

Пользователь-эксперт представляет экспертные знания о диагностике ГТД в виде наборов примеров. Внутренняя форма представления экспертных знаний – дерево вывода. При решении задач диагностики и контроля параметров ГТД процесс принятия решений в ЭС РВ (дерево вывода) можно наблюдать на любом этапе. Это особенно полезно на начальных этапах решения задачи, в процессе адаптации диагностируемой (эталонной) математической модели (ММ) ГТД.

Взаимодействие гетерогенных БЗ (БД, БЗЗ, БКЗ, баз правил (БП)) с ММ и внешними программами-утилитами на этапе диагностики и контроля ГТД показано на рис.2. Общая процедура обращения к БЗ в ЭС РВ выглядит следующим образом:

$\langle P \rangle \langle F \rangle \langle S \rangle$ ,

где  $\langle P \rangle$  - компонента объекта в БЗ;

$\langle F \rangle$  - понятие в БЗ;

$\langle S \rangle$  - множество входных и выходных параметров концептуальной модели.

Работа с несколькими БЗ и БД в ЭС РВ (рис.2) осуществляется путем их совместного объединения в едином информационном пространстве благодаря входному языку интерпретирующего типа позволяющего эффективно адаптировать и расширять концептуальную модель ГТД.

Процесс решения задачи решателем в среде ЭС РВ осуществляется по следующему запросу:

$ММ(S1) \rightarrow ММ(S2) \{t\}$

? S1, S2

ММ – математическая модель диагностируемого ГТД;

S1, S2 – диагностируемые параметры;

$\{t\}$  – один из логических операторов.

БЭЗ представлена в виде четких, нечетких и комбинированных продукций (“если  $X$ , то  $Y$ ”):

$X$  – условие в виде  $D1 \vee D2 \vee \dots \vee Dm$ , где

$D_i$  – дизъюнкт в виде  $E11 \& E12 \& \dots \& E1n$ ;

$Y$  – действие в виде  $G1 \& G2 \& \dots \& Gk$ .

Нечеткость в БЭЗ может быть в общем виде представлена:

$$(X \rightarrow Y(Z)),$$

где  $\{X\}$ ,  $\{Y\}$ ,  $\{Z\}$  – нечеткие множества, определенные на универсальных множествах  $\{U\}$ ,  $\{V\}$ ,  $\{W\}$ . Множества  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  определяют частично или полностью неопределенные параметры диагностической нечеткой модели ГТД. Раскрытие нечеткости характеризуется выполнением следующего выражения [3,4]:

Операция конъюнкции в нечеткой логике сводится к нахождению минимума значений:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}, \text{ для } x \in X.$$

В качестве решающего правила выбрано следующее:  $\mu_{\bigcap_{i=1}^M x_i}(x) > 0$  при

$x \in D_1, \dots, \mu_{\bigcap_{i=1}^M x_i}(x) > 0$  при  $x \in D_N$ . Значение, полу-

чаемое в данном случае при подстановке численного значения величины изменения параметра в разделяющую функцию рассматривается как степень принадлежности (достоверности) данного состояния к диагнозу  $D$ .

С целью повышения надежности (достоверности) распознавания применяется “порог чувствительности”, тогда “решающее правило” формули-

руется следующим образом: если  $\mu_{\bigcap_{i=1}^M x_i}(x) \geq \varepsilon$ , то  $x \in D_1$ ; если

$\mu_{\bigcap_{i=1}^M x_i}(x) \geq \varepsilon$ , то  $x \in D_N$ ; если  $\mu_{\bigcap_{i=1}^M x_i} < \varepsilon$ , то отказ от распозна-

вания.

Диагностика ГТД (граф причинно-следственных связей) в среде БЭЗ ЭС РВ представляет собой декомпозицию вида [6]:

Задача  $(X) \rightarrow$  Подзадача 1  $(X1) \# \dots \#$  Подзадача  $N (Xn)$ ,  
где  $X$  – набор входных и выходных параметров задачи;

# – символ конкатенации (перехода) из одной БЭЗ в другую.

Однако каждая задача (цель) может быть декомпозирована на ряд подзадач (подцелей). В этом случае выбор способа решения основной задачи зависит от особенностей решения каждой из подзадач. Параметр, управляющий процессом решения целевой задачи (диагностики и контроля параметров ГТД), является свойством ее решения. Поэтому продукция цели БЭЗ преобразуется в продукции подцели:

Задача (X) = Свойство  $\rightarrow$  Подзадача1(X1) = Свойство1  
#.....# Подзадача N (Xn) = Свойство n.

Методика построения разнородных знаний гибридной ЭС РВ для диагностики и контроля ГТД в условиях неопределенности:

- 1.Формализация предметной области (разработка концептуальной модели).
- 2.Выбор и адаптация метода диагностирования.
- 3.Представление модели ГТД в виде отдельных понятий (знаний) в БЗ.
- 4.Формирование БЗ с базой правил в качестве управляющей компоненты интеллектуального ядра.
- 5.Описание разнородных знаний по диагностике и контролю ГТД в отдельных подсистемах гибридной ЭС (БД, БКЗ, БЭЗ, БП, графическая БД, расчетные файлы и т.д.).
- 6.Разработка программной части нечеткой логики.
- 7.Распределение информационных потоков в среде гибридной ЭС РВ и ее отдельными подсистемами.
- 8.Тестирование отдельных подсистем гетерогенной БЗ на уровне запросов пользователя.
- 9.Тестирование гибридной динамической ЭС.

В заключении следует отметить, что рассмотренный автором подход к построению интеллектуальных систем контроля и диагностики ГТД на базе нечетких статических и динамических гибридных ЭС позволяет:

- легко адаптировать диагностируемый объект;
- активно применять знания (правила и нечеткие правила в экспертных БЗ, процедуры) и механизмы рассуждений для эффективного решения задач диагностики;
- создавать мощную информационную гибридную среду с одновременной поддержкой графической интерпретацией объекта диагностики и баз данных, что позволяет хранить текущее состояние диагностируемой системы;
- включать и отключать программные модули, имитирующие поведение датчиков и компенсирующих недостающие параметры диагностируемого объекта.

Предложенный подход реализован автором в среде ЭС РВ Rtworks 3.5, а также частично проверен в среде экспертных оболочек

семейства ПРИЗ: ExpertPriz и C-Priz, которые показали высокую эффективность при решении задач диагностики и контроля параметров ГТД.

### Список литературы

1. Ахмедзянов А.М., Тунаков А.П., Боровик Е.П. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам.- М.: Машиностроение, 1983. - 206с.
2. Сиротин Н.Н., Коровкин Ю.М. Техническая диагностика авиационных ГТД.- М.: Машиностроение, 1979 - 276 с.
3. Васильев В.И., Ильясов Б. Г. Интеллектуальные системы управления с использованием нечеткой логики. Учебное пособие. Уфа: УГАТУ, 1995. - 100 с.
4. Прикладные нечеткие системы. /Под редакцией Т.Тэрano.- М.: Мир, 1993. - 368с.
5. Тыгу Э.Х. Концептуальное программирование. - М.; Наука, 1984. - 280с.
6. Искусственный интеллект. Кн. 3. Программные и аппаратные средства. /Под ред. В.Н. Захарова - М.: Радио и связь, 1990.- 370с.
7. Жернаков С.В., Тарасов Ф. Ф. Разработка интеллектуальных баз данных ВРД в гибридной экспертной системе. //Испытания авиационных двигателей. Межвуз. науч. сб. - Уфа: 1995. -С. 135-142.
8. Жернаков С. В., Молотков Е. Г. Диагностик САУ СУЛА на базе нечеткой ЭС РВ. // Труды международного семинара. "Мягкие вычисления - 96". - Казань: КГТУ, 1996. - С. 115-122
9. Жернаков С.В., Молотков Е.Г., Юлдыбаев Л.Х. Интеллектуальные средо-ориентированные системы моделирования испытаний авиационных ГТД на базе гибридных экспертных оболочек. //Испытания авиационных двигателей. Межвуз.научн.сб. - Уфа: 1997. - С. 115-126
10. Биргер И.А. Техническая диагностика.- М.: Машиностроение, 1978.- 240с.
11. Черкез А.Я. Инженерные расчеты газотурбинных двигателей методом малых отклонений. М., Машиностроение, 1975, - 380с.
12. Попов Э.В., Фомин И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. - М.: Финансы и статистика, 1996. - 315 с.
13. Герман О.В. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний. - Минск: ДизайнПРО, 1995. - 256с.
14. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики: (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства)/ Под редакцией П.П. Пархоменко. - М.: Энергия, 1981.-320с.
15. Tyugu E.H. Large engineering knowledge bases // Artificial Intelligence in Engineering. 1993. N8. P.266-270.